

工商管理优秀教材译丛

管理学系列

R

Risk Assessment

Theory, Methods, and Applications

风险评估

理论、方法与应用

[挪威]

马文·拉桑德 (Marvin Rausand) 著

刘一骝

译



清华大学出版社

风险评估

理论、方法与应用

[挪威] 马文·拉桑德 (Marvin Rausand) 著

刘一骝 译

Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications

清华大学出版社

北京

MARVIN RAUSAND

Risk Assessment

Theory, Methods, and Applications

EISBN: 978-0-470-63764-7

Copyright © 2011 by John Wiley & Sons, Inc.

Original language published by John Wiley & Sons, Inc. All Rights reserved.

本书原版由 John Wiley & Sons, Inc. 出版。版权所有,盗印必究。

Tsinghua University Press is authorized by John Wiley & Sons, Inc. to publish and distribute exclusively this Simplified Chinese edition. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only (excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan). Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

本中文简体字翻译版由 John Wiley & Sons, Inc. 授权清华大学出版社独家出版发行。此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾地区)销售。未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2012-5654

本书封面贴有 Wiley 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

风险评估: 理论、方法与应用 / (挪威)拉桑德(Rausand, M.)著; 刘一骝译. --北京: 清华大学出版社, 2013

(工商管理优秀教材译丛. 管理学系列)

书名原文: Risk assessment: theory, methods and applications

ISBN 978-7-302-32417-1

I. ①风… II. ①拉… ②刘… III. ①风险管理 IV. ①F272.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 105230 号

责任编辑: 杜 星

封面设计: 常雪影

责任校对: 宋玉莲

责任印制: 宋 林

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 31.75 插 页: 2 字 数: 772 千字

版 次: 2013 年 6 月第 1 版

印 次: 2013 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 58.00 元

产品编号: 045768-01

译者序

风险评估
Risk Assessment

在中国经济逐渐成为全球领头羊的今天,安全事故却仿佛是梦魇一样一直围绕在我们周围。从大连湾的漏油事件到温州的高速列车追尾再到不时发生的煤矿瓦斯爆炸和塌方,这些悲剧都在时刻提醒我们,确保技术安全、避免事故发生已经成为保证可持续发展的重要命题。事实上,自从工业革命以来,随着科技发展,技术系统也变得越来越庞大并且复杂,全世界的学者和工程技术人员一直都在致力于寻找有效的方法和手段,在发展生产的同时能够保护人员、财产和环境的安全。

风险评估是进行重大事故预防不可或缺的一个重要环节,有效的风险评估可以帮助人们识别技术系统的缺点,发现各种可能会造成伤害的危险事件,进而采取相应的预防和补救措施,阻止事故的发生,或者将事故的影响降到最低。

西方发达国家,尤其是西北欧国家,在经历了 20 世纪 70 年代和 80 年代一系列惨痛的工业事故之后,就一直把工业安全和事故预防的问题放在重中之重的地位,并大范围推广风险评估技术和方法,也对此进行了大量的探索和研究。所有的这些成果都会对解决中国日益严重的技术安全问题有巨大的帮助。

位于挪威特隆赫姆的挪威科技大学和挪威工业与技术研究院,拥有在风险评估和重大事故预防领域全世界领先的研究团队,而我在博士后和访问博士期间的导师——马文·拉桑德教授更是其中的领军人物。从 20 世纪 70 年代,拉桑德教授就一直从事可靠性与风险评估方面的研究、咨询和教学工作,他的《系统可靠性理论:模型、统计方法与应用》一书,是包括麻省理工学院、伯克利大学在内的世界很多知名大学的可靠性课程指定教材,已经在国内出版,受到了广大读者的欢迎。

我很荣幸能够有机会把拉桑德教授的新书翻译成中文带给大家。本书对风险评估相关的概念进行了详细的界定和周密的定义,因此读者可以循序渐进,系统地把握风险评估的内涵。可以说,市场上现在所有的教材都没有做到这一点。另外,本书也真正全面并且结构化地介绍了各种风险评估方法,能够帮助读者纵览全貌,对不同的方法进行比较,并根据实际应用选择合适的技术手段。

这本书基于拉桑德教授自己和很多合作者多年的研究成果和经验,最后成稿于 2011 年拉桑德教授在法国普罗旺斯国立高等工程技术学院进行学术休假期间。作为国际知名专家,拉桑德教授并没有利用学术休假满世界演讲圈钱,而是实实在在、一页一页地把这本著作完成,可见这是对读者一份多么充满诚意的礼物。而拉桑德教授这种踏实的态度,也激励着我认真地对待自己的翻译工作。

在翻译的过程中,拉桑德教授给予了我很大的支持,也经常及时解答我很多有关内容方面的问题。在此,我再次向拉桑德教授表示最真诚的谢意。

同样,我要感谢我的硕士和博士生导师——天津大学管理与经济学部的刘子先教授。没有刘老师的无私帮助,这本书就无法完成。此外,我还要感谢清华大学出版社的编辑杜星先生和他的同事,他们的帮助和专业工作让本书得以出版。我也应该感谢挪威科技大学的胡享平博士对于本书概率论相关内容翻译的指正。

最后,我要感谢我的妻子韩菡,一方面是因为她一直以来对我的支持,另一方面她在本书的文字和内容的校对上也付出了巨大的努力。

拉桑德教授在原作致谢中提到,本书的优点大部分应该归功于我的合作者,至于一切错误、缺点和不正确的见解,当由自己完全负责。我在工作当中慢慢地体会到,这真的不是一句空话或者自谦,而是发自肺腑。对于中文版而言,如果读者发现了问题和错误,那么很多都是由于译者的水平有限,而如果读者有所收获的话,我们应该感谢原作者多年来的努力。

刘一骜

挪威特隆赫姆

2012年8月1日

前言

风险评估 Risk Assessment

这本书全面介绍了风险分析、风险评估以及相关的方法。我们关注的是技术或者社会技术系统中可能发生的事故,尤其是突发的重大事故。一般性的职业事故以及由于长期工作引起的健康问题不是本书的重点所在。

1991年,挪威颁布了国家标准 NS 5814《风险分析需求》,与此同时,我也编写了一本小册子,名为《风险分析: NS 5814 指南》(拉桑德,1991年)。这是一本非常浅显的读物,但是却涉及一个非常重要的命题,因此得到了广泛的使用。在《系统可靠性理论》一书第一版 1995 年出版之后,我就开始筹划撰写这本书。但不久之后,我发现撰写一本有关风险评估的书要比撰写系统可靠性教材难得多,这主要是因为风险评估的术语非常模糊,同时它又是一个多学科交叉的话题,相关的报告和指南汗牛充栋却又很难理出线索。

到了 2008 年,NS 5814 第二版发布,相关的指南也随之更新和扩展,因此我和英格瑞·波沃尔·于特内(Ingrid Bouwer Utne)合作了一本挪威语教材《风险分析:理论和方法》(拉桑德和于特内,2009年 b),它与本书的结构类似,只是更加基础和铺直叙,构成了本书的雏形。

本书主要分为两个部分。第一部分介绍了风险分析,并且定义和讨论了相关的概念。我们是否能够真正理解事故是如何发生的,对于风险评估方法的选择会产生影响。因此,我们在书中专门留出一章描述事故模型和事故的前因后果。书中还有一章介绍了输入数据要求和数据质量,而其他的一些章节则按照结构化的方法介绍了风险评估的各个步骤。

第二部分讲述的是风险分析的主要方法,包括初步危险分析、HAZOP、故障树分析和事件树分析等。我们还讨论了像共因失效和人因错误这些特别的问题。在第二部分的最后,我们简单回顾了风险评估在一些主要应用领域的发展进程和应用情况。

本书的第三部分是附录,其中附录 A 对一些相关的概率和统计知识进行了简单的介绍。如果读者没有经过基本的概率和统计的训练,可以首先阅读这部分附录。其他的读者也可以对照附录 A 中的公式加深对其他章节内容的理解。此外,我们还在第三部分中列出了风险评估中常用的缩写和术语。

本书还列出了一些可供参考的法律、规章和标准。在使用这些参考资料的时候,读者需要及时检查是否已经有最新版本的文件发布。

在风险评估领域,有很多家机构发布了数不清的技术报告。这些技术报告虽然大部分都具有非常高的质量但是却在相互冲突的术语,或者介绍了多种方法但是这些方法的作用却大抵相同。另外,市场上真正关于风险评估的教科书也寥寥无几。

为了让风险评估的术语更加标准规范,我花了很多的工夫去界定这些术语,并尽量给出清楚的定义。在本书中,对于大部分的定义我都使用了单独的段落和专门的符号作为标记。

此外,在编写这本书的过程中,我还阅读了很多不同机构发布的指南,试图从这些指南中挖掘一些重要的信息。然而,这些指南的发布速度要超过我的阅读速度,所以我不得不说不说阅读全部指南确实是一项无法完成的任务。在搜索指南的时候,我也一定会漏掉一些重要的机构,同时还有很多指南是用我不了解的语言编写的,这些都有待读者根据自己的情况进一步学习。

我选择了一些自己认为有用也是最常见的方法,但是这些方法是否合适还要取决于读者本人的判断。这本书可能看起来有些保守,因为我选择的主要都是那些久经考验的方法,而没有包括那些新奇的想法。

在风险评估的一些领域,比如人因可靠性分析中,有很多种方法,所以每个研究人因可靠性的人都可以开发属于自己的方法和技术。

在每章的最后,我都给出了一些延伸阅读的建议。我不敢说这些参考书目是最相关的,但是就我个人而言,它们确实是最有用、与本书相应内容最为接近的文献。

本书主要用作风险分析和风险评估的大学本科高年级和研究生课程。出于这个目的,我也设计了一系列相关问题,有兴趣的读者可以登录本书主页找到这些问题:<http://www.ntnu.edu/ross/books/risk>。

我希望本书也能够成为实用风险评估的指南,因为它对各种方法都做了充分的描述,读者在阅读完描述之后就可以使用相应的方法。我在介绍每一种方法的时候都使用了相同的结构,包括方法的具体步骤以及流程图。这些方法的描述基本上都是独立的,因此不需要阅读整本书就可以使用其中的一些方法。

本书中的大部分描述和案例都来自欧洲,尤其是挪威。然而,我相信它们对于世界上的其他地区也是有着借鉴意义的。

本书的写作风格与我前一本有关系统可靠性理论的书(拉桑德和霍伊兰德,2004年)类似,甚至有一些方法同时在两本书中出现,只是考虑的角度有些差别。有些问题在《系统可靠性理论:模型、统计方法与应用》一书中阐述得更加详细,因此我推荐读者最好能够同时拥有这两本书。

我希望您在阅读本书的过程中会有所收获。如果您有问题或者建议,可以给我发送电子邮件。我的联系方式可以在本书的主页找到。

马文·拉桑德

挪威特隆赫姆

2011年3月15日

致 谢

风险评估

Risk Assessment

我很荣幸能够得到很多朋友和同事对于本书提出的宝贵建议和帮助。他们是(按音序):

- 斯坦·豪根,是挪威科技大学风险分析领域的教授,拥有非常丰富的工业项目风险分析经验。他曾经阅读了本书的几个章节,并提出了一些富有价值的改进建议。
- 派尔·胡可斯塔德,来自挪威工业与技术研究院,是本书第 15 章共因失效部分初稿的合作者,他对于这一章的内容有重要的影响。
- 英格丽莎·约翰森,是挪威科技大学的一名博士研究生。我很荣幸能够成为她的硕士和博士阶段的导师,她的硕士论文是和本书的第 2 章和第 4 章共同完成的,她本人也对这两章的内容做出了巨大贡献。此外,她还阅读了其他几章的内容,对我的一些拙劣的表达进行了修改,补充了一些内容,并提出了一些有关文字和技术上的建设性建议。
- 安德烈·尼沃特,来自布拉格捷克理工大学,他曾经在挪威科技大学做过六个月的短期访问,我很荣幸可以在此期间对他进行指导。他帮助我撰写了第 10 章中有关佩特里网的内容。
- 英格瑞·波沃尔·于特内,是挪威版教科书《风险分析:理论和方法》(拉桑德和于特内,2009 年 b)的合作者,当时她是挪威科技大学的一名博士后研究员。她的很多观点以及我们关于一些问题的讨论对于本书都有着影响。
- 克努特·厄恩,来自挪威工业与技术研究院,同时也是挪威科技大学风险评估领域的兼职教授。他是本书第 13 章人因可靠性分析部分初稿的合作者,并对最终稿给出了建议。此外,本书的第 17 章有关风险评估发展的应用的内容,也是基于多年以前克努特·厄恩和我合编的一份挪威语报告完成的。

我同样还要感谢 John Wiley & Sons 出版社编辑人员认真、高效和专业的工作。

我也要感谢国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)许可我使用 IEC 60300-3-9 第 1.0 版(1995 年)、IEC 60300-3-4 第 2.0 版(2007 年)、IEC 60050-191 第 1.0 版(1990 年)、IEC 61508-0 第 1.0 版(2005 年)、IEC 61508-4 第 2.0 版(2010 年)、IEC 61508-1 第 2.0 版(2010 年)、IEC 61508-6 第 2.0 版(2010 年)。所有这些标准的版权都归瑞士日内瓦国际电工委员会所有。如果要了解更多有关 IEC 的信息,请访问 <http://www.iec.ch>。IEC 对于作者复制和使用的内容不负任何责任,同时 IEC 对于本书其他内容和准确性也不负任何责任。

本书第 2 章中有部分内容来自 NS-ISO 31000:2009《风险管理——原则和指南》,还有一些定义来自 NS-EN ISO 17776:2002,这些复制的内容都已经在 2011 年 3 月得到了

标准在线公司的许可,但是公司仍然保留全部版权,标准在线公司也不保证复制的这些内容正确。

本书使用到了英国健康与安全执行委员会(Health and Safety Executive, HSE)的一些出版物作为参考文献,这些都属于 HSE 发布的公共信息,得到了英国《政府开发式许可条例 1.0 版》的许可。

这本书是我在法国普罗旺斯省的法国国立高等工程技术学院(Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, ENSAM)进行学术休假期间完成的,我非常感谢里奥那尔·卢库莱斯教授(Lionel Roucoules)和他的同事们,他们帮助我在法国度过了愉快的一年。

在本书的写作过程中,我也阅读了很多与风险评估相关的书籍、科技论文、标准、技术报告、指南和讲义,我尽量对它们进行了重新加工和整理,并尽量列出了参考文献注释。如果本书使用了未经授权的句子并且没有给出参考文献注释,绝对不是我的本意,我对此感到非常抱歉。

在《生活的艺术》(1937年由美国纽约威廉姆·英罗公司(William Morrow)出版)一书的前言中,林语堂先生写道:“当我结束这篇自序时,必须照例地说,本书如有优点的话,大部分应该归功于我的合作者,至于一切错误、缺点和不正确的见解,当由我自己完全负责。”我在这里也想表达同样的意思,只是要把合作者一词替换成同事和参考文献。

马文·拉桑德

目 录

风险评估
Risk Assessment

第 1 篇 风险评估介绍

第 1 章 背景介绍	3
1.1 简介	3
1.1.1 三个主要问题	4
1.1.2 概念模型	5
1.1.3 本书的目标	5
1.1.4 本书的重点	6
1.2 风险分析、评估和管理	6
1.2.1 风险分析	6
1.2.2 风险评价	7
1.2.3 风险评估	7
1.2.4 风险管理	8
1.3 研究对象	9
1.3.1 社会技术系统	10
1.3.2 SHEL 模型	10
1.3.3 复杂性与耦合	11
1.4 事故类别	12
1.4.1 詹斯·拉斯姆森分类法	12
1.4.2 詹姆斯·雷森分类法	13
1.5 现代社会中的风险	14
1.5.1 风险增加	14
1.5.2 重大事故经验	14
1.6 安全立法	15
1.6.1 安全实据	15
1.6.2 安全立法中的风险评估	16
1.6.3 风险分析标准和指南	16
1.7 风险与决策	17
1.7.1 决策模型	18
1.7.2 利益相关者	18

1.7.3	确定性决策	19
1.7.4	风险导向型决策	19
1.7.5	风险响应型决策	19
1.7.6	风险评估的有效性	20
1.7.7	结束语	20
1.8	本书结构	20
1.8.1	第1篇：风险评估介绍	20
1.8.2	第2篇：风险评估方法及应用	21
1.8.3	第3篇：附录	21
1.9	延伸阅读	22
第2章	风险分析术语	23
2.1	简介	23
2.2	事件与场景	23
2.2.1	危险事件	24
2.2.2	初始事件	24
2.2.3	事故场景	24
2.3	概率与频率	26
2.3.1	概率	26
2.3.2	争论	30
2.3.3	频率	31
2.4	资产与后果	32
2.4.1	受害人员分类	32
2.4.2	后果和伤害	33
2.4.3	严重度	34
2.4.4	后果集	34
2.4.5	后果的时效	35
2.5	风险	35
2.5.1	风险的其他定义	36
2.5.2	安全绩效	37
2.5.3	风险影响因子	38
2.5.4	渴望风险	38
2.5.5	风险的动态平衡	38
2.5.6	残余风险	39
2.5.7	猜测风险	39
2.5.8	争论	40
2.6	安全栅	42
2.6.1	安全栅的分类	42

2.6.2	缓解	43
2.6.3	深度防护	43
2.7	事故	43
2.7.1	意外事件与未遂事故	44
2.7.2	特殊事故	44
2.8	不确定性	45
2.9	脆弱性和弹性	46
2.9.1	脆弱性	46
2.9.2	弹性	46
2.10	安全与安防	47
2.10.1	安全	47
2.10.2	安防	47
2.10.3	弱点	48
2.10.4	IT 安防	48
2.11	延伸阅读	49
第 3 章	危险与威胁	50
3.1	简介	50
3.2	危险	50
3.2.1	常见危险列表	51
3.2.2	触发事件	52
3.2.3	安全问题	52
3.2.4	显性故障和潜伏状态	53
3.3	危险分类	53
3.4	威胁	54
3.4.1	威胁情况	55
3.5	能量源	56
3.6	技术失效	56
3.6.1	失效分类	57
3.7	人为和组织因素	58
3.8	延伸阅读	58
第 4 章	风险的测量和评价	59
4.1	简介	59
4.2	风险指标	59
4.3	人员风险	60
4.3.1	年均个体风险	61
4.3.2	潜在等效死亡率	62

4.3.3	地域性个体风险	63
4.3.4	风险等高线	64
4.3.5	预期寿命缩短	65
4.3.6	失时工伤	65
4.3.7	致死与受伤频率之间的关系	67
4.3.8	潜在生命损失值	68
4.3.9	致死事故率	69
4.3.10	每百万人死亡率	72
4.3.11	FN 曲线	73
4.4	风险矩阵	76
4.4.1	频率分级	77
4.4.2	后果分级	77
4.4.3	风险指数	78
4.4.4	另一种风险矩阵	79
4.4.5	优势和局限	80
4.5	风险接受准则	80
4.5.1	可接受风险和可容忍风险	82
4.5.2	生命的价值	83
4.5.3	风险接受方法	84
4.6	结束语	88
4.7	延伸阅读	88
第 5 章	风险管理	89
5.1	简介	89
5.2	风险管理	89
5.3	领结图分析	90
5.3.1	分析步骤	91
5.4	风险分析	92
5.4.1	风险分析的类型	92
5.4.2	风险接受准则	93
5.4.3	风险分析的步骤	94
5.5	风险评价	100
5.6	风险控制和风险降低	100
5.6.1	人为错误的控制	101
5.7	能力要求	101
5.8	质量要求	102
5.8.1	特殊要求	102
5.8.2	风险评估外包	102

5.9 延伸阅读	102
第6章 事故模型	104
6.1 简介	104
6.1.1 事故分类	104
6.1.2 事故调查	105
6.2 事故原因	106
6.2.1 天灾	106
6.2.2 事故倾向性	106
6.2.3 事故原因分类	106
6.3 事故模型	108
6.3.1 事故建模的目的	108
6.3.2 事故模型分类	108
6.4 能量与安全栅模型	109
6.4.1 安全栅分析	110
6.4.2 哈顿模型	110
6.5 顺序事故模型	112
6.5.1 海因里希的多米诺模型	112
6.5.2 损失因果模型	113
6.5.3 拉斯姆森-斯文顿模型	114
6.5.4 STEP	115
6.6 流行病学事故模型	117
6.6.1 雷森的瑞士奶酪模型	117
6.6.2 三脚架法	118
6.7 事故因果和顺序模型	122
6.7.1 MTO 分析	122
6.7.2 MORT	124
6.8 系统事故模型	127
6.8.1 拉斯姆森的社会技术框架	127
6.8.2 事故地图	129
6.8.3 正常事故	130
6.8.4 高可靠性组织	133
6.8.5 STAMP	134
6.9 延伸阅读	134
第7章 风险分析数据	135
7.1 简介	135
7.2 数据类型	136

7.3	事故数据	137
7.3.1	事故和意外数据库的目的	138
7.3.2	一些事故和意外数据库	138
7.3.3	事故调查报告	139
7.4	元件可靠性数据	140
7.4.1	元件失效事件数据	140
7.4.2	元件失效速率	140
7.4.3	通用可靠性数据库	141
7.4.4	失效模式与机制分布	143
7.4.5	数据分析和数据质量	143
7.4.6	具体工厂的可靠性数据	144
7.5	人因错误数据	146
7.5.1	简介	146
7.5.2	人因错误数据库	146
7.5.3	人因错误概率	147
7.6	软件失效数据	147
7.7	专家判断	148
7.8	数据档案	148
7.9	延伸阅读	149

第 2 篇 风险评估方法与应用

第 8 章	风险评估过程	153
8.1	简介	153
8.1.1	描述方法的结构	153
8.2	计划和准备	155
8.2.1	目标	156
8.2.2	研究团队	156
8.2.3	项目计划	157
8.2.4	系统描述	157
8.2.5	熟悉	157
8.2.6	文档控制系统	158
8.2.7	法律法规	158
8.2.8	输入数据	158
8.2.9	方法选择	158
8.3	报告	159
8.3.1	报告的内容	160
8.4	更新	161

8.5 延伸阅读	162
第9章 危险识别	163
9.1 简介	163
9.1.1 危险识别的目标	163
9.1.2 危险识别方法	163
9.2 危险日志	165
9.3 检查表方法	169
9.3.1 简介	169
9.3.2 目标与应用	169
9.3.3 分析步骤	169
9.3.4 需要的资源和技术	169
9.3.5 优势和局限	169
9.4 初步危险分析	170
9.4.1 简介	170
9.4.2 目标和应用范围	171
9.4.3 分析步骤	171
9.4.4 需要的资源和技术	177
9.4.5 标准和指南	178
9.4.6 优势和局限	178
9.5 变更分析	178
9.5.1 简介	178
9.5.2 目标和应用范围	178
9.5.3 分析步骤	179
9.5.4 需要的资源和技术	179
9.5.5 标准和指南	180
9.5.6 优势和局限	180
9.6 FMECA	181
9.6.1 简介	181
9.6.2 目标和应用	181
9.6.3 方法描述	182
9.6.4 分析步骤	182
9.6.5 需要的资源和技术	187
9.6.6 标准和指南	188
9.6.7 优势和局限	188
9.7 HAZOP	188
9.7.1 简介	188
9.7.2 目标和应用	188

9.7.3	方法描述·····	189
9.7.4	分析步骤·····	191
9.7.5	需要的资源和技术·····	195
9.7.6	标准和指南·····	196
9.7.7	优势和局限·····	196
9.8	SWIFT·····	196
9.8.1	简介·····	196
9.8.2	目标和应用·····	197
9.8.3	方法描述·····	197
9.8.4	分析步骤·····	198
9.8.5	需要的资源和技术·····	201
9.8.6	标准和指南·····	201
9.8.7	优势和局限·····	202
9.9	主逻辑图·····	202
9.10	延伸阅读·····	202
第 10 章	原因与频率分析 ·····	204
10.1	简介·····	204
10.1.1	原因和频率分析的目标·····	204
10.1.2	原因和频率分析方法·····	204
10.2	因果图分析·····	205
10.2.1	简介·····	205
10.2.2	目标和应用·····	206
10.2.3	方法描述·····	206
10.2.4	分析步骤·····	206
10.2.5	需要的资源和技术·····	207
10.2.6	标准和指南·····	208
10.2.7	优势和局限·····	208
10.3	故障树分析·····	208
10.3.1	简介·····	208
10.3.2	目标和应用·····	208
10.3.3	方法描述·····	209
10.3.4	分析步骤·····	221
10.3.5	需要的资源和技术·····	225
10.3.6	标准和指南·····	225
10.3.7	优势和局限·····	225
10.4	贝叶斯网络·····	226
10.4.1	简介·····	226